

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.05.015

# 大型办公建筑照明及插座系统 电耗逐时使用率聚类分析

李沁, 李百战, 丁勇

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**逐时使用率对于预测办公建筑照明与插座系统电耗,以及核定节能改造的节能量有十分重要的意义。选取重庆17幢办公建筑作为研究对象,根据建筑全年逐时照明与插座系统的实测电耗数据,计算各建筑全年每个工作日24h的逐时使用率。利用聚类分析方法,根据日逐时使用率的不同,将办公建筑快速分为3类。根据是否经常加班以及午休时是否关闭部分用电设备,可以快速判断办公建筑属于哪一分类。最后对3类建筑分时段计算典型逐时使用率,便于实际应用中快速查询。

**关键词:**办公建筑;聚类分析;逐时使用率;能耗特征;照明能耗;能耗分析

中图分类号:TU113.65 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2014)05-0089-06

## Cluster Analysis of Hourly Usage Ratio of Lighting and Equipments Energy Use in Office Buildings

Li Qin, Li Baizhan, Ding Yong

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** The hourly usage ratio is very important for lighting and equipment energy predicting of office buildings and energy saving calculation of energy efficient retrofit. 17 office buildings in Chongqing were selected to calculate daily usage ratio by using whole-year electrical consumption data of lighting and equipments energy system. According to the different hourly usage ratio, office buildings have been categorized into two main types by using cluster analysis method. Then, the typical hourly usage ratios of two types of office buildings were calculated.

**Key words:** office building; cluster analysis; hourly usage ratio; energy consumption performance; lighting energy; energy profile

建筑领域一直都是全世界能源消耗的主要领域。有学者指出,中国2010年建筑总能耗占到全国能源消耗总量的20.9%,而公共建筑是建筑中的用能大户,其能耗水平远高于居住建筑<sup>[1]</sup>。办公建筑作为公共建筑的重要组成部分,其用能特点受到了广泛的关注<sup>[2-3]</sup>。而有研究表明照明电耗占大型公共建筑总电耗的20%~40%<sup>[4-5]</sup>,是不可忽略的一项用能。

目前中国《公共建筑节能设计标准》中针对照明及插座能耗的预测方式为照明密度、电器设备密度结合逐时使用率来计算,但并没有对办公建筑进行分类考虑。而对办公建筑的人员密度、照明密度和设备用电密度进行了大量的研究<sup>[6-12]</sup>,但对逐时使用率的研究较少。而研究表明大型办公建筑与小型办公建筑的照明及插座系统用能特性有差异<sup>[13]</sup>,而

收稿日期:2014-01-03

基金项目:中央高校基本科研业务费资助(CDJXS12210003)

作者简介:李沁(1985-),女,博士,主要从事建筑节能技术研究,(E-mail)18623304660@163.com。

目前办公人员作息时间并没有分开讨论<sup>[14]</sup>。因公办公类型和办公人员作息规律的差异会导致电耗曲线差异明显<sup>[15-16]</sup>。因此可根据电耗逐时使用率的差异进行分类讨论。

为了研究大型办公建筑的照明与插座系统用能的逐时使用率,本文通过对重庆市公共建筑监测平台上的17栋大型办公建筑在2012年全年各小时的电耗数据进行研究。通过统计计算得到各办公建筑的照明及插座系统的典型逐时使用率,再根据典型逐时使用率的不同,运用系统聚类法将办公建筑进行分类。

## 1 办公建筑用能特性分析

从重庆市公共建筑监测平台上选取的17栋大型办公建筑的基本情况及其2012年电耗如表1。其中照明及插座设备是指建筑物主要功能区域的照明、插座等室内设备用电的总称。17建筑的单位面积年总电耗22.64~157.29 kWh/m<sup>2</sup>·a,电耗高的办公建筑用电量是电耗低的近7倍。而单位面积照明及插座系统电耗6.65~137.39 kWh/m<sup>2</sup>·a。数据表明建筑之间能耗水平差异较大,而照明及插座系统用能占年总用能的25%~70%。

表1 办公建筑基本信息及电耗数据

建筑序号	建筑面积/m <sup>2</sup>	建筑时间	建筑层数	单位面积年总电耗/ (kWh·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	单位面积照明及插座系统年总 电耗/(kWh·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	照明及插座系统电耗 占总电耗的百分比/%
1	20 000	2010	5	22.64	6.65	29.37
2	32 000	2010	24	39.65	26.78	67.54
3	35 000	2000	35	57.97	29.71	51.25
4	25 000	1998	28	157.29	83.89	53.33
5	20 000	2005	33	59.86	30.10	50.28
6	20 000	1999	30	67.85	36.53	53.84
7	21 000	1995	28	60.24	44.16	73.31
8	37 000	2010	30	62.81	39.89	63.51
9	30 000	2000	6	56.51	28.54	50.50
10	20 000	2008	16	88.88	60.53	68.10
11	42 000	2006	33	128.66	72.73	56.53
12	30 000	2002	30	155.56	137.39	88.32
13	27 000	2009	8	64.71	41.65	64.36
14	50 000	2010	37	34.38	19.84	57.71
15	35 000	2010	19	34.73	18.30	52.69
16	23 500	2006	18	36.00	9.17	25.47
17	30 000	2008	24	59.75	23.85	39.92

## 2 大型办公建筑照明及插座系统用电逐时使用率

在实际运行中,建筑大部分时间都处于部分负荷下运行。这主要是因为大型办公建筑内的用电设备并不同时运行,即使同时运行,也并不会都同时达到额定容量。对于不同能耗水平的建筑,不便于进行比较,因此采用逐时使用率对比建筑的实际运行水平。不同时刻用电设备的使用率与在室人员的概率正相关,人员在室率越大,用电设备使用的概率越

大,即该时刻的用电使用率越大。

由于实际条件的限制,无法获得重庆市公共建筑各用能系统的设计容量。因此通过提取各个样本建筑的照明及插座系统在2012年的全年小时用能的最大值代替设计总容量。建筑照明及插座系统用能的逐时使用率计算如式(1)。

$$P_i = \frac{\text{第 } i \text{ 小时用能}}{\text{全年小时用能最大值}} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, 23) \quad (1)$$

逐时使用率受到建筑使用功能、正常工作时间、

使用者个人习惯等因素的影响。根据上式,分别计算17栋建筑在2012年每个工作日的照明及插座系统用电的逐时使用率。再对求得的每个办公建筑的工作日逐时使用率求均值,将24h的均值定义为单个建筑的照明及插座系统电耗的典型日逐时使用率。将17栋办公建筑的典型日逐时使用率绘制箱型图,如图1。虽然17栋建筑总电耗差异较大,但从图1中可以看出,它们典型日逐时使用率趋势相近,办公建筑的上班时间对办公人员的在室率影响很大,因此用电使用率与时刻强相关。从箱型图中箱体的长短来判断数据的离散程度,可看出在8:00—10:00和17:00—22:00的时间段,建筑之间逐时使用率的差别较大,主要是由于这些时段办公人员的在室率变化很大。因此,可将全天分为4个阶段进行分析,即夜间时段(0:00—8:00和19:00—24:00)、上班时段(8:00—9:00)、日间时段(9:00—17:00)和下班时段(17:00—19:00)。夜间时段指夜间无人员活动的时段;上班时段指办公人员陆续到达,用能逐步上升至日间阶段的水平的时段;日间时段是正常办公时段;下班时段指办公人员陆续离开,用能逐步下降到夜间水平的时段。

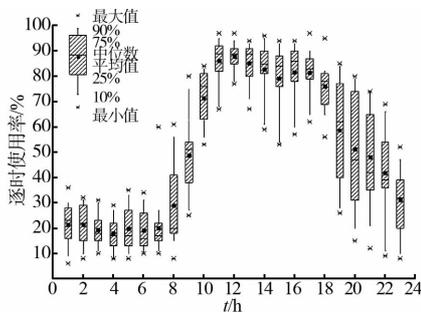


图1 大型办公建筑照明及插座系统典型日逐时使用率

### 3 大型办公建筑聚类分析

选用层次聚类分析法从大量样本建筑的用电数据中快速筛选并提取照明及插座系统用电使用率特征曲线。聚类分析是一种探索性的分析,在分类的过程中,人们不必事先给出一个分类的标准,聚类分析能够从样本数据出发,自动进行分类。

各样本大型办公建筑的典型日逐时使用率曲线的聚类分析步骤如下:

1)将日24h的逐时使用率作为因子,建立因子矩阵阵 $x_{ij} n \times p$ ,表示为 $n=17$ 个样本建筑数,每个样本有 $p=24$ 个因子, $x_{ij}$ 表示第 $i$ 个样本建筑的第 $j$ 个小时的逐时使用率。

2)将17栋办公建筑各自作为一类,有 $n=17$ 类。选用欧氏距离方法计算各因子之间的距离,类间平均距离法计算样本建筑间距离,可形成距离矩阵 $D^2$ 。其中, $n$ 为类的个数。类间平均距离法计算公式为 $D_{kl}^2 = \frac{n_p}{n_p + n_q} D_{kp}^2 + \frac{n_q}{n_p + n_q} D_{kq}^2$ 。欧氏距离 $d_{ij}$ 的计算式为: $d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2}$ 。距离矩阵

$$\text{为 } D^2 = \begin{bmatrix} 0 & D_{n1}^2 & \cdots & D_{1n}^2 \\ D_{21}^2 & 0 & & D_{2n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{n1}^2 & D_{n2}^2 & \cdots & 0 \end{bmatrix}。$$

3)找出前一步求得的矩阵 $D^2$ 中的最小元素,设它是 $G_i^{(k)}$ 和 $G_j^{(k)}$ 间的距离,将 $G_i^{(k)}$ 和 $G_j^{(k)}$ 两类合并成一类,于是产生新的聚类 $G_1^{(k+1)}, G_2^{(k+1)}, \dots$ ,令 $n = n - 1$ 。表示将计算所得距离最近的两个建筑合并为一类,形成 $n - 1 = 16$ 类。再计算新产生的类别与其他类的距离,形成新的距离矩阵。

4)重复第3步骤,直到所有建筑合并为一类为止。

5)根据上述步骤的计算结果,得到聚类谱系图。办公建筑的照明及插座系统电耗的聚类谱系图如图2。聚类谱系图以直观的方式表现出聚类的全过程,它把类间的最大距离算作相对距离25,其余距离均换算成与之相比的相对距离大小。图2中线条的连接表示了类别的合并,而直线段的长短可表示类别之间的距离。

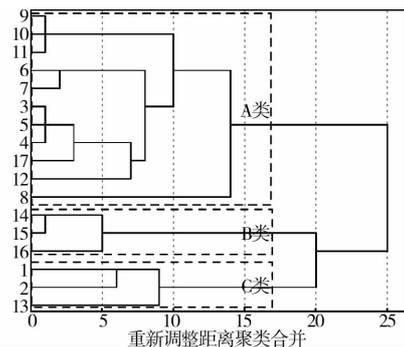


图2 照明及插座系统电耗的逐时使用率聚类谱系图

6)确定最佳聚类个数,得到最终聚类结果。对照明及插座系统的逐时使用率进行聚类时,主要是想通过聚类分析的方法,快速提取各建筑用电使用率分布特征,因此需判断最佳分类数。判定最佳分类数的方法主要来自方差分析的思路,两类合并时距离系数变化率越大说明这两类越不应该合并。从表2中看出当聚类个数从3类合并为2类时,距离系数变化最大且大于前面相邻步骤变化,因此认为

不应该从 3 类聚为 2 类,最佳聚类个数取 3 较为合理。在聚类谱系图中画 1 条竖线与 3 条横线相交,这 3 条对应的就是聚为的 ABC3 类,如图 2。

表 2 聚类过程中类别间距离系数

聚类个数	类别之间距离系数	相邻系数的变化值	聚类个数	类别之间距离系数	相邻系数的变化值
16	0.02		8	0.27	0.06
15	0.03	0.01	7	0.30	0.03
14	0.03	0.01	6	0.35	0.05
13	0.05	0.02	5	0.41	0.06
12	0.05	0.00	4	0.45	0.03
11	0.07	0.01	3	0.62	0.17
10	0.15	0.08	2	0.88	0.26
9	0.21	0.06	1	1.14	0.26

根据逐时使用率数据点,绘制 A、B、C 类建筑的典型逐时使用率的分段曲线图,如图 3~5。在夜间阶段和日间阶段,由于人员在室率变化不大,因此照明及插座系统的使用率变化较稳定,用平直线表示,该时段使用率的均值作为平直线取值。而对于上班和下班时段,人员在室率变化很大,一般认为人员到达率服从泊松分布。但由于上班和下班时段较短,为简化模型,用斜直线代替表示该时段的用电使用率,将夜间和日间的使用率均值作为斜线的首尾点。其中 B 类建筑在日间时段由于午休,办公人员离开办公室会关闭一部分用电设备,因此在 13:00 逐时使用率有所下降。

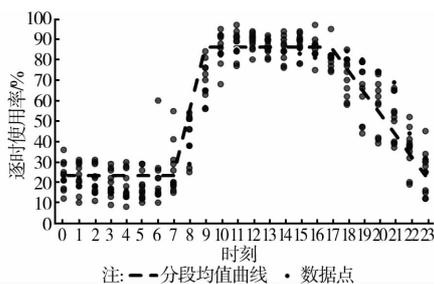


图 3 A 类建筑照明及插座系统的典型逐时使用率曲线

在夜间时段,办公建筑基本没有人员活动,其应急照明以及特殊用电设备还保留运行,故此阶段的逐时使用率不为零。该时段人员在室率变化不大,因此逐时使用率较为平稳。

在上班时段,办公人员陆续进入建筑,照明设备和办公电器设备大量开启,人员在室率升高,逐时使用率急速上升。

在日间时段,办公人员到达办公室后非特殊情况不会离开,人员在室率基本不变,照明及插座系统

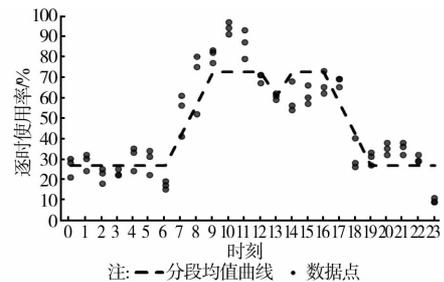


图 4 B 类建筑照明及插座系统的典型逐时使用率曲线

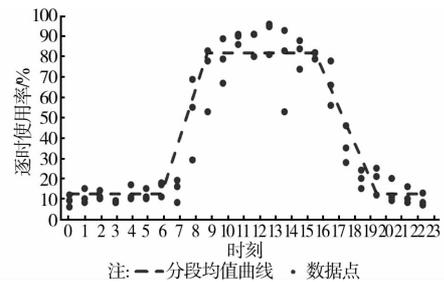


图 5 C 类建筑照明及插座系统的典型逐时使用率曲线

的使用率波动不大。故对该时段的逐时使用率取均值来描述。B 类建筑在午间因午休而使用率有所下降,逐时使用率在中午存在一个较小的波谷。

下班时段办公人员陆续离开,照明设备和办公电器设备大量关闭,人员在室率降低,逐时使用率急速下降。而 A 类建筑下班时段后移,使用率逐时下降较缓,说明该类办公建筑在夜间常有加班。

根据 3 类建筑在 4 个时段的照明及插座系统逐时使用率情况的分析,可以绘制建筑分类判断思路,如图 6。如果使用大型办公建筑的公司经常在夜间有加班情况,应分为 A 类。如在夜间基本不加班,而办公人员在午休时会关闭部分用电设备,应分为 B 类,否则分为 C 类。

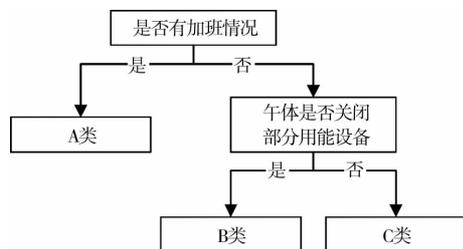


图 6 建筑分类判断思路

为了应用便捷,根据 3 类大型办公建筑照明及插座系统的典型逐时使用率曲线,得到一天 24 h 的典型逐时使用率(如表 3)。对于大型办公建筑进行节能改造后的节能量计算时,可直接查表得到逐时使用率,使用率乘以功率可得到节能量。

表3 3类办公建筑的照明及插座系统的典型逐时使用率时刻

时刻	A	B	C	时刻	A	B	C
0	23	27	12	12	86	73	82
1	23	27	12	13	86	61	82
2	23	27	12	14	86	73	82
3	23	27	12	15	86	73	82
4	23	27	12	16	86	73	82
5	23	27	12	17	86	57	65
6	23	27	12	18	76	42	47
7	23	42	36	19	65	27	30
8	55	57	59	20	55	27	12
9	86	73	82	21	44	27	12
10	86	73	82	22	34	27	12
11	86	73	82	23	23	27	12

根据表3的结果,可以判断3类办公建筑在下一步进行节能改造或者节能运行管理时的重点对象。对于节能管理而言,应加强夜间时段用电设备的管理,关闭部分不必要的用电设备;对于A和C两类型建筑应在午休时关闭部分用电设备。对于节能改造而言,对于日间用电负荷率相近但用电水平差异大的建筑,应针对用能水平高的建筑进行节能改造,换用能效更高的用电设备。

## 4 结论

通过重庆市17栋大型办公建筑的照明及插座系统全年逐时用电数据的分析,计算各建筑全年每个工作日24h的逐时使用率,利用层次聚类分析方法,根据日逐时使用率的不同,将建筑快速分为3类。得到以下结论:

1)基于层次聚类分析方法,建立了对照明及插座系统的用电逐时使用率进行快速分类的方法。根据聚类步骤之间距离系数变化率来判断最佳聚类个数,最佳聚类数为几,就表明样本建筑中有几类典型特征曲线。

2)通过对3类办公建筑的典型逐时使用率进行研究,认为分类结果能有效反映照明及插座系统的用能特点。而应用该方法对更大样本量建筑进行分类同样适用,且方便快捷。

3)得到待评办公建筑快速分类判断思路,得到各类办公建筑的照明及插座系统的典型逐时使用率表,可供预测办公建筑的照明及插座系统电耗时快速查询,也可以用于办公建筑照明及插座系统改

造后的节能量计算。

4)办公建筑照明及插座系统的用电逐时使用率与人员在室率的相关性很强。在后续研究中,应针对人员在室率进行深入研究。人员在室率与建筑运行时间有关,因此可使用相同方法分析其他类型的公共建筑。

### 参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告,2012[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2] 梁传志. 夏热冬暖地区办公建筑能耗特性研究[D]. 天津:天津大学,2011.
- [3] 肖贺. 办公建筑能耗统计分布特征与影响因素研究[D]. 北京:清华大学,2011.
- [4] 周欣,燕达,任晓欣,等. 大型办公建筑照明能耗实测数据分析及模型初探[J]. 照明工程学报,2013(4):14-23. Zhou X, Yan D, Ren X X. Data analysis and modeling of lighting energy use in large office building[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2013(4):14-23.
- [5] Giorgos N S, Constantinos A B. Energy consumption and the potential of energy savings in Hellenic office buildings used as bank branches—A case study [J]. Energy and Buildings, 2011, 43(4):770-778.
- [6] 许巧玲,陈晓彦,赵超,等. 基于多元统计方法的酒店建筑能耗分析研究[J]. 福州大学学报:自然科学版,2011(2):249-253. Xue X L, Chen X Y, Zhao C, et al. A study on energy performance of hotel buildings by using multivariable statistics analysis [J]. Journal of Fuzhou University: Natural Science Edition, 2011(2):249-253.
- [7] Gavin D, Ian K. Small power equipment loads in UK office environments [J]. Energy and Building, 2005, 37(1):87-91.
- [8] Geun Y Y, Hyo J K, Hyoin K. A field survey of visual comfort and lighting energy consumption in open plan offices [J]. Sustainable and Healthy Buildings, 2012, 46(1):146-151.
- [9] Geun Y Y, Hyoin K, Jeong T K. Effects of occupance and lighting use patterns on lighting energy consumption [J]. Energy and Buildings, 2012, 46(1):152-158.
- [10] Lee S J, Lee M W, Hoon K. Decision of lighting power density for office building lighting [J]. Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 2012, 26(1):22-28.
- [11] Friedrich L, Jean-Louis S. Minimizing lighting power

- density in office rooms equipped with anidolic daylighting systems [J]. *Solar Energy*, 2010, 84(4): 587-595.
- [12] Menezes A C, Cripps A, Buswell R A. Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in office buildings [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 75(1): 199-209.
- [13] Joseph C L, Danny H W. Electricity consumption characteristics in shopping malls in subtropical climates [J]. *Energy Conversion & Management*, 2003, 44: 1391-1398.
- [14] Yun G Y, Steemers K. Time-dependent occupant behaviour models of window control in summer [J]. *Building and Environment*, 2008, 43(9): 1471-1482.
- [15] Menezesa A C, Crippsa A, Buswellb R A, et al. Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in office buildings [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 75(7): 199-209.
- [16] Masoso O T, Grobler L J. The dark side of occupants' behavior on building energy use [J]. *Energy and Buildings*, 2010, 42(1): 173-177.

(编辑 王秀玲)

.....

(上接 75 页)

- [8] 徐庆. 从垂直照度来看人行横道照明[J]. *光源与照明*, 2011(2): 1-3.  
Xu Q. Vertical illuminance influence on crosswalk lighting [J]. *Lamps and Lighting*, 2011(2): 1-3.
- [9] 赵海天, 姚其, 邝志斌, 等. 基于视网膜照度的路面照明效率分析[J]. *深圳大学学报: 理工版*, 2013, 30(2): 186-189.  
Zhao H T, Yao Q, Kuang Z B, et al. Lighting efficiency analysis of low position inverted lighting [J]. *Journal of Shenzhen University: Science and Engineering*, 2013, 30(2): 186-189.
- [10] 赵海天, 王少健, 姚其, 等. 城市景观照明的光色系统[J]. *深圳大学学报: 理工版*, 2013, 30(9): 504-507.  
Zhao H T, Wang S J, Yao Q. Color-brightness system in urban landscape lighting [J]. *Journal of Shenzhen University: Science and Engineering*, 2013, 30(9): 504-507.
- [11] Janoffa M S. The effect of visibility on driver performance: a dynamic experiment [J]. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 1990, 19(1): 57-63.
- [12] 赵海天, 施世涛. 灯光在水面的光色效应及其机理[J]. *灯与照明*, 2013, 37(2): 1-5.  
Zhao H T, Shi S T. Lighting water-surface effect and its mechanism [J]. *Light and Lighting*, 2013, 37(2): 1-5.
- [13] Zhao H T, Hu Y P, Yao Q. Relationship between irradiation direction of the light source and direction of visual axis [J]. *Resource and Sustainable Development*, 2013: 1561-1564.

(编辑 胡英奎)